

Problem Solving

Beate Weyland

Finalità

Karl Popper nel 1999 scrisse un libro di saggi intitolato "all life is problem solving". In effetti ogni giorno, nei più diversi contesti personali e professionali le persone sono costantemente alle prese con la risoluzione di problemi.

Si può dire che il problem solving sia uno tra le competenze del 21° secolo (<http://www.21stcenturyskills.org>) se con questo si intendono le abilità di risolvere differenti tipologie di problemi non familiari sia con metodi convenzionali, sia con metodi innovativi, la capacità di identificare e porre domande significative e pregnanti che chiariscono i diversi punti di vista e guidano verso la migliore soluzione.

Come ben descritto da Jonassen (2010 a) il problem solving è l'attività di apprendimento più autentica, e quindi la più rilevante che l'individuo possa fare.

Il problem solving inteso come processo richiede innanzitutto la costruzione di una rappresentazione mentale della situazione problema così come si è presentata. Essa descrive la comprensione del problema e quindi l'abilità di definirne la tipologia. Il risolutore del problema, attraverso la rappresentazione, riesce ad individuare gli elementi necessari per avere un quadro più chiaro della situazione e a orientarsi in direzione della soluzione più congrua. Questa rappresentazione mentale si chiama anche *spazio del problema*. (Jonassen 2010)

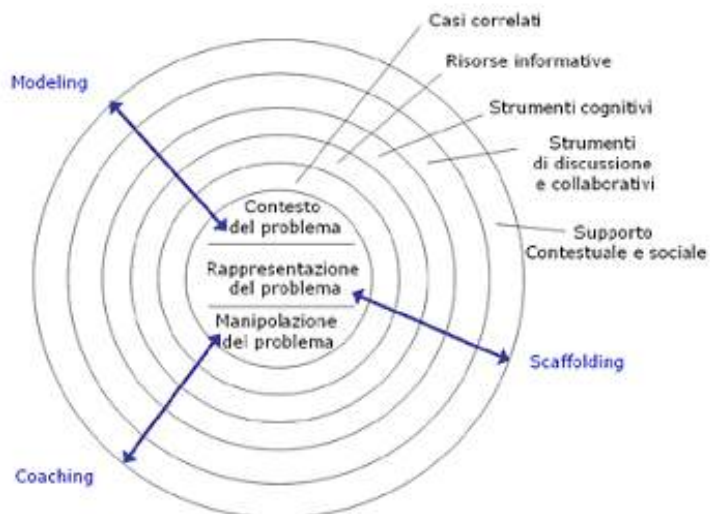
Il problem solving di solito coinvolge schemi di problemi pregressi che assistono la persona nel processo risolutivo. Le esperienze di risoluzione di problemi sono accumulate e salvate nella memoria e sono organizzate in forma di modelli mentali o schemi (Rumelhart & Norman, 1988). Questi schemi di problema consistono in rappresentazioni semantiche degli oggetti o delle situazioni legate ai problemi, sono rappresentazioni delle loro relazioni strutturali, come anche dei processi per trovare la soluzione all'ignoto in quelle determinate situazioni. Lo schema di problema consente a chi apprende di procedere direttamente alla soluzione del problema (Gick & Holyoak, 1983) cercando le risposte già incluse nello schema stesso.

D'altra parte gli schemi problema dovrebbero essere considerati come modelli formali che si appoggiano al linguaggio, alle visualizzazioni o a altri sistemi di modellamento. Tra gli scopi dell'istruzione vi è spesso quello di delineare una rappresentazione esterna del processo del problem solving nella memoria degli alunni. L'insegnamento invece dovrebbe facilitare la formazione delle basi degli schemi dei problemi, ovvero una costruzione mentale attiva e dinamica dello spazio problema come spazio critico per riuscire a risolvere problemi.

Descrizione

Il problem solving è un processo di interpretazione, articolazione e di risoluzione di qualcosa di ignoto in un determinato contesto, ovvero di una situazione in cui non è nota la differenza tra un obiettivo atteso e una situazione data. Generalmente la ricerca e l'individuazione delle soluzioni all'ignoto hanno un valore sociale, culturale e/o intellettuale. Il problem solving corrisponde dunque alla percezione dell'ignoto e alla necessità di determinarlo. La ricerca dell'ignoto significa il processo del problem solving (Jonassen 2010).

Lo schema riportato qui sotto riassume il contributo di David Jonassen al problem solving. L'ambiente di apprendimento si organizza intorno a una persona e a un problema legati insieme da tre caratteristiche principali: il contesto, le rappresentazioni mentali, la manipolazione del problema.



David Jonassen, *Modello di progettazione di un ambiente di apprendimento costruttivista*, 1999.

Natura del problema. Il problem solving ha molti significati da diversi punti di vista. Dal punto di vista dell'elaborazione delle informazioni, la soluzione dei problemi consiste in stati iniziali, obiettivi, stati e vincoli di percorso (Wood, 1983). Risolvere un problema è trovare un percorso attraverso lo spazio del problema che, da un momento iniziale, passa lungo i sentieri che soddisfano i vincoli di percorso e termina nello stato obiettivo.

La gran parte delle prime ricerche sul problem solving si è basata su questa definizione lineare e quindi si è concentrata su problemi semplici, statici, ben strutturati. I problemi logici o di storia a scuola sono esempi di problem solving strutturato. Questa definizione lineare può funzionare per questo genere di problemi, tuttavia, è difficile da applicare a problemi non strutturati, in cui gli stati obiettivo e i vincoli di percorso spesso sono sconosciuti o sono da negoziare. Pertanto, per problemi non strutturati, diventa impossibile stabilire percorsi dati.

La maggior parte dei problemi con cui abbiamo a che fare tutti i giorni nella vita personale o professionale sono non strutturati e complessi. Jonassen e altri studiosi (Frensch & Funke, 1995; Jonassen 2000; Jonassen & Hung, 2008) articolano in tre dimensioni principali la natura dei problemi non strutturati così come i processi per risolverli: struttura, complessità e dinamicità. Esse determinano il livello di difficoltà dei problemi e le risorse necessarie per risolverli.

Natura della rappresentazione del problema. La rappresentazione esterna ed interna dei problemi è oggetto di diverse ricerche. Alcune ricerche hanno esaminato la rappresentazione dei problemi della storia, concentrandosi sugli esempi pratici e sulle rappresentazioni a matrice. Jonassen (2010) ha delineato le caratteristiche degli ambienti di apprendimento basati sui problemi, sostenendo l'importanza di utilizzare come strategie didattiche gli esempi pratici, i casi di studio, le esperienze precedenti, le prospettive alternative, e i problemi analoghi. L'elemento sul quale porre maggiore attenzione riguarda l'abilità nella definizione dello spazio interno ed esterno del problema. Per agevolare la costruzione dello spazio problema stati impiegati diversi strumenti cognitivi, come le mappe concettuali, i diagrammi schematici, i diagrammi di influenza e le modellazioni del sistema. Gli effetti specifici di questi strumenti cognitivi sui vari aspetti e sulle fasi del problem solving non sono ancora pienamente compresi.

Natura del problem solver. Il problem solving è influenzato dalle caratteristiche cognitive, sociali, culturali della persona che si trova di fronte a un problema. Le conoscenze del risolutore del problema, l'esperienza precedente, le posizioni epistemologiche, la capacità di ragionamento e una miriade di altre sfumature individuali hanno un impatto significativo non solo sulle competenze nel problem solving della persona, ma anche su quelle che saranno le priorità, le preoccupazioni, e le prospettive nella risoluzione delle più varie tipologie di problemi in contesti diversi. Inoltre, le modalità dell'interazione sociale e le regole dei diversi ambienti sociali possono anche facilitare o ostacolare la soluzione dei problemi. Quanto più queste favoriscono una visione multiprospettica, tanto più contribuiscono all'ampliamento della ricerca e al confronto sulle possibili soluzioni ai problemi e sono il presupposto per sviluppare la creatività nel problem solving.

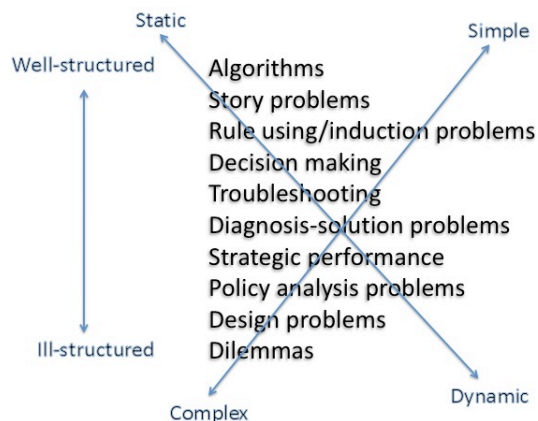
Natura del contesto del problem solving. I problemi variano anche a seconda del contesto. In situazioni e ambiti diversi, le persone risolvono diversi tipi di problemi. Lehman, Lempert, e Nisbett (1988) trovarono che gli studenti universitari sviluppano nelle varie discipline diversi tipi di ragionamento in base alle tipologie di problemi che risolvono. Gli studenti di psicologia e di medicina danno prestazioni migliori sui problemi di ragionamento statistico, metodologico, e ipotetico rispetto agli studenti di diritto e di chimica, che non imparano tali forme di ragionamento. Lo stesso dicasi per il personale di organizzazioni diverse che risolvono problemi a partire dagli aspetti sociali, storici e culturali che definiscono l'organizzazione. Pochissime ricerche tuttavia hanno affrontato la tematica dei problemi complessi, non strutturati che emergono in contesti quotidiani (Sinnott, 1989): il contributo di Jonassen risulta quindi determinante perché indaga su come il contesto influisce sullo sviluppo delle competenze del problem solving.

Ambiti di applicazione

I modelli tradizionali del problem solving, noti come phase models (Bransford & Stein, 1994) postulano che tutti i problemi possono essere risolti se (1) identifichiamo il problema (2) generiamo soluzioni alternative, (3) valutiamo queste possibili soluzioni, (4) implementiamo la soluzione scelta, e (5) valutiamo l'efficacia di tale soluzione. Tuttavia il problem solving varia caso per caso, a seconda delle competenze ed abilità del problem solver, della natura del problema stesso, del contesto nel quale si presenta il problema e del modo in cui il problem solver si rappresenta il problema (Jonassen 2007).

Nel prossimo schema si descrive il continuum (vedi Figura 1) tra i problemi ben strutturati e mal o non strutturati (Jonassen, 1997, 2000; Voss & Post, 1988). La maggior parte dei problemi incontrati nei contesti dell'istruzione formale, sono ben strutturati: presentano tutti gli elementi del problema, coinvolgono un numero limitato di regole e principi, sono organizzati in una disposizione predittiva e prescrittiva, in possesso di risposte corrette, convergenti, e hanno un processo risolutivo ben definito.

I cosiddetti problemi "mal strutturati" o ill-structured problems, invece, sono proprio quei problemi che si incontrano nella pratica quotidiana. Essi presentano molte soluzioni alternative, obiettivi vagamente definiti o poco chiari e vincolanti, percorsi risolutivi multipli e criteri multipli per la valutazione delle possibili soluzioni, sono quindi più difficili da risolvere. Imparare a gestire sistemi complessi, imparare a prendere decisioni politiche, e imparare a padroneggiare la contabilità, tutti questi sono problemi non strutturati.



Jonassen (2000) ha identificato undici tipi di problemi, tra cui: algoritmi, problemi di tipo scolastico, problemi regolativi, la presa di decisioni (*decision making*), diagnosi-soluzione dei problemi (troubleshooting), prestazioni strategica, problemi di analisi delle politiche, problemi di progettazione, e dilemmi. I diversi tipi di problemi variano principalmente lungo il continuum *well-structured/ill-structured*, semplice/ complesso e statico/dinamico. La descrizione delle diverse tipologie di problemi si lega in modo specifico ai vari contesti d'uso e professionali.

Problemi scolastici (story problems)

In quasi tutti i libri scolastici afferenti alle scienze, alla matematica e all'ingegneria, questo tipo di problemi sono costituiti da un numero limitato di elementi del problema che di solito sono correlati tra loro matematicamente e incorporati in una descrizione (storia). La risoluzione dei problemi di tipo scolastico richiede: (1) di rappresentare le incognite con lettere, (2) tradurre le relazioni tra le incognite in equazioni, (3) risolvere le equazioni per trovare il valore delle incognite, e (4) verificare i valori trovati per vedere se risolvono il problema originale (Rich, 1960). Purtroppo, i risolutori di problemi che falliscono basano la loro soluzione solamente sui numeri e sulle parole chiave che si selezionano dal problema (Hegarty, Mayer, e Monk, 1995). Questo processo lineare implica che il problem solving venga letto come una procedura da memorizzare, una pratica, e un'abitudine e che enfatizza l'individuazione di risposte e non la ricerca di significati (Wilson, Fernandez, e Hadaway, 2001). Così il processo di trasferimento in nuovi contesti è molto difficile perché ci si focalizza eccessivamente sulle caratteristiche superficiali del problema o si tende a richiamare le soluzioni familiari di problemi precedentemente risolti (Woods, Hrymak, Marshall, Legno, Crowe, Hoffman, Wright, Taylor, Woodhouse, e Bouchard, 1997). Risulta difficile comprendere i principi e le applicazioni concettuali alla base delle prestazioni, per trasferire la capacità di risolvere un tipo di problema a problemi con la stessa struttura, ma con caratteristiche dissimili.

Problemi regolativi

Molti problemi hanno percorsi risolutivi multipli o più regole che disciplinano il percorso senza una procedura specifica o un metodo predefinito. L'utilizzo di un sistema di ricerca online per trovare una determinata letteratura scientifica, o di un motore di ricerca per trovare informazioni specifiche sono esempi di *role using problems*, ovvero di problemi che fanno riferimento a specifiche regole. Lo scopo è chiaro: trovare le fonti di informazione più rilevanti nel minor tempo possibile. Questo richiede la selezione dei termini di ricerca, la costruzione di argomenti di ricerca efficaci, l'attuazione di una strategia di ricerca, e la valutazione dell'utilità e della credibilità delle informazioni trovate. Questa è la regola essenziale della ricerca. Dato che ci sono le strategie di ricerca più diverse, anche i *role using problems* possono categorizzarsi tra quelli non strutturati.

Molti problemi richiedono che si comprenda la regola che li sottende, al fine di risolverli. Un esempio può essere quello di capire le modalità di funzionamento di un nuovo dispositivo.

Problemi di decisione

Le teorie normative del processo decisionale affermano che i risolutori di problemi individuano quante più soluzioni possibili rispetto a una serie di alternative che si basano su criteri di selezione ponderati. Si tratta di comparare e confrontare i vantaggi e gli svantaggi delle soluzioni alternative.

Tali criteri possono essere predeterminati oppure è il risolutore che deve individuare quelli più pertinenti. Le imprese scientifiche risolvono quotidianamente molti problemi decisionali, come ad esempio la selezione di un materiale da utilizzare per una progettazione meccanica, la determinazione di livelli di inventario appropriati, o la selezione dei candidati per l'assunzione. Una recente ricerca ha messo in discussione questa concezione normativa del processo decisionale, preferendo invece un approccio più personale e attraverso la costruzione di storie (vedi Jonassen, 2010).

Troubleshooting

Sebbene il troubleshooting (diagnosi di un "malfunzionamento" ed implementazione della soluzione), o la risoluzione dei problemi, sia più comunemente associato ai lavori tecnici (ad es. il mantenimento di comunicazioni e attrezzature complesse, la riparazione di apparecchiature informatiche), anche i professionisti vi si confrontano soprattutto quando si tratta di sistemi difettosi (ad esempio, gli ingegneri identificano gli errori in certi processi chimici, i medici o psicoterapeuti diagnosticano i problemi di salute o psicologici).

La risoluzione dei problemi richiede una combinazione di conoscenza della tematica e del sistema (modelli concettuali del sistema, componenti del sistema e interazioni, controllo di flusso, stati di errore, caratteristiche delle anomalie, sintomi, informazioni contestuali, e probabilità di occorrenza). Ad esse si uniscono la ricerca e la sostituzione di parti difettose, la divisione dello spazio e procedure di controllo dell'errore. Tali competenze sono integrate e organizzate dalle esperienze dei risolutori.

La competenza dei problem solvers si struttura più a partire dall'esperienza nella risoluzione dei problemi che sui modelli concettuali teorici nel campo. Jonassen e Hung (2006) hanno svolto una ricerca per la progettazione di ambienti di apprendimento basata sul troubleshooting a partire da: un modello concettuale variegato del sistema, un simulatore per la generazione di ipotesi e per testarle, una biblioteca di storie di caso di risoluzione dei problemi di altri.

Problemi di politica

I problemi politici sono problemi decisionali complessi non strutturati. Essi di solito coinvolgono urbanisti, analisti politici, dirigenti di comunità, locali, statali, nazionali e legislatori, cittadini, dirigenti di agenzie e molte altre parti interessate, la maggior parte delle quali assumono posizioni fondamentalmente diverse tra loro, supportate da riferimenti altrettanto diversi. Essi sono più legati al contesto che qualsiasi altro tipo di problema considerato finora. I classici problemi di casi situati esistono anche nelle relazioni internazionali, come ad esempio "... un dato basso di produttività delle colture in Unione Sovietica, come potrebbe essere risolto, se il risolutore fosse il Direttore del Ministero delle Politiche Agricole nel Soviet Union? "(Voss e post, 1988, p. 273).

Problemi di progettazione

Forse il genere meno strutturato di problemi è il design (Jonassen, 2000). Che si tratti di un circuito elettronico, di una parte meccanica, o di un nuovo sistema di produzione, un dipinto o una canzone, il progetto richiede l'applicazione di una grande quantità di conoscenza di riferimento e una serie di conoscenze strategiche per arrivare a un design originale.

Nonostante l'apparente obiettivo di trovare una soluzione ottimale entro limiti determinati, di solito gli obiettivi sono poco chiari e vagamente delineati, mentre i vincoli rimangono poco definiti. Le possibili

soluzioni e i percorsi per arrivarvi sono molteplici. Forse la parte più difficile dei problemi di progettazione è che essi possiedono moltissimi criteri per la valutazione delle soluzioni. Questi criteri, inoltre, sono spesso sconosciuti. In definitiva, il progettista deve soddisfare le esigenze del cliente, tuttavia i criteri per un design accettabile di solito non vengono dichiarati. I problemi di progettazione spesso richiedono al progettista di esprimere giudizi sul problema e di difenderli o di esprimere opinioni personali o convinzioni sul problema. Ciò evidenzia che i problemi non strutturati consistono unicamente in complesse attività umane interpersonali (Meacham & Emont, 1989).

Dilemmi

Scienziati e ingegneri spesso vengono coinvolti in dilemmi sociali o etici. La creazione di un prodotto biochimico redditizio, ma dannoso per l'ambiente, rappresenta un dilemma. Essi possono essere estremamente poco strutturati e imprevedibili, spesso perché non esiste una soluzione accettabile per una parte significativa delle popolazioni colpite dal problema. Di solito ci sono molte prospettive importanti sulla situazione (economica, politica, sociale, etico, ecc.), ma nessuna abbastanza convincente per offrire una soluzione accettabile alla crisi. La situazione è così complessa e imprevedibile, che a volte non esiste nessuna soluzione migliore. Ciò non significa che non ci siano molte soluzioni, che possono essere tentate con gradi variabili di successo, tuttavia, queste non potranno mai soddisfare le esigenze della maggior parte delle persone o sfuggire alle prospettive di catastrofe.

La capacità dei singoli e dei gruppi di lavoro nell'affrontare efficacemente tutti questi tipi di problemi è fondamentale per la sopravvivenza delle organizzazioni e per una buona gestione. I passi principali sono:

- problem finding, rendersi conto del problema
- problem setting, definire e inquadrare il problema in uno specifico contesto
- problem analysis, analizzare il problema, e porre le giuste domande
- problem solving, ridurre la distanza tra situazione attuale e ideale,
- decision making, scegliere le linee di azione più adeguate.

Autori più significativi e riferimenti bibliografici

Questo modello concettuale fa soprattutto riferimento agli studi di David Jonassen, che ha offerto alla comunità scientifica e al mondo della formazione una lettura costruttivista sui processi conoscitivi con indicazioni che hanno fatto scuola nell'ambito della progettazione degli ambienti di apprendimento sia online che offline. In particolare gli elementi apprezzati del suo pensiero si concentrano sui seguenti aspetti: approccio problem-based, nel senso che l'apprendimento ruota attorno a situazioni problematiche di vario tipo che colui che apprende si trova ad affrontare; costruzione delle conoscenze in base alla personale interpretazione dell'esperienza; importanza del contesto (fisico, organizzativo, socio-culturale) come punto di riferimento fondamentale per risolvere problemi; centralità della motivazione e dell'interesse nel processo risolutivo (da cui si aprono poi tutte le riflessioni sull'apprendimento significativo); valorizzazione delle problematiche complesse, non strutturate, come fondamentali per costruire competenze risolutive trasferibili nei più diversi contesti personali e professionali, impiego dei "casi" intese come "storie" narrate in forma critica, a partire dalle quali può essere impostato un processo di problem solving.

Le teorie sul problem solving hanno avuto varie fasi durante le quali si sono sviluppati diversi modelli, come ad esempio il classico General Problem Solver (Newell & Simon, 1972). Questo modello si concentra soprattutto su due momenti del processo di pensiero associato al problem solving: il momento della comprensione e quello della ricerca.

Un altro modello molto noto è quello chiamato "IDEAL" (Bransford & Stein, 1984) inteso come un processo di: Identificazione di potenziali problemi, Definizione e rappresentazione del problema, Esplorazione di possibili strategie, Azione sulla base di queste strategie e Lungimiranza, come osservazione degli effetti delle azioni che si sono intraprese.

Gick e Holyoak (1993) sintetizzano questo e altri modelli di problem solving in un modello semplificato in cui sono determinanti: il processo della costruzione della rappresentazione di un problema, la ricerca di soluzione, l'implementazione della soluzione e il monitoraggio.

La posizione di Jonassen rispetto a questi modelli è critica, perché ritiene che pur essendo utili dal punto di vista descrittivo, concepiscono i problemi tutti alla stessa maniera, assumendo che tipologie diverse di problemi in differenti contesti vengono risolti in modo simile (Jonassen 2010). Il problem solving, infatti, è un processo incredibilmente complesso del quale sappiamo ancora molto poco. Nelle prime ricerche il problem solving era concepito come un processo unidimensionale e lineare per la ricerca di soluzioni. Negli anni più recenti, la ricerca è passata a un modello multidimensionale che include in particolare i seguenti aspetti: natura del problema, tipologie di rappresentazione del problema, natura del problem solver e i contesti.

Riferimenti

Bransford, J. & Stein, B.S. (1983). *The IDEAL problem solver: A guide for improving thinking, learning, and creativity*. New York: W.H. Freeman.

Frensch, P. A., & Funke, J. (1995). (Eds.). *Complex problem solving: The European perspective*. Hillsdale, NJ: Erlbaum. Gick, M.L., & Holyoak, K.J. (1983). Schema induction and analogical transfer. *Cognitive Psychology*, 15, 1-38.

Feltovich, P.J., Spiro, R.J., & Coulson, R.L. (1989). The nature of conceptual understanding in biomedicine: The deep structure of complex ideas and the development of misconceptions. In D. Evans & V. Patel (Eds.), *The cognitive sciences in medicine*. Cambridge, MA: MIT Press.

Gick, M.L. & Holyoak, K.J. (1983). Schema induction and analogical transfer. *Cognitive Psychology*, 12, 306-365.

Jacobson, M.J. (1990). *Knowledge acquisition, cognitive flexibility, and the instructional applications of hypertext: A comparison of contrasting designs for computer-enhanced learning environments*. (Doctoral dissertation, University of Illinois).

Greeno, J. (1980). Trends in the theory of knowledge for problem solving. In D.T. Tuma & F. Reif (Eds.), *Problem solving and education: Issues in teaching and research* (pp. 9-23). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Hegarty, M., Mayer, R.E., & Monk, C.A. (1995) Comprehension of arithmetic word problems: A comparison of successful and unsuccessful problem solvers. *Journal of Educational Psychology*, 87, 18-32.

Jonassen, D.H. (1997). Instructional design model for well-structured and ill-structured problem-solving learning outcomes. *Educational Technology: Research and Development* 45 (1), 65-95.

Jonassen, David H. (1999) *Designing constructivist learning environments*, in *Instructional-design theories and models: A new paradigm of instructional theory* (a cura di) Reigeluth, C. M., Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Jonassen, D.H. (2000). Toward a design theory of problem solving. *Educational Technology: Research & Development*, 48 (4), 63-85.

Jonassen, D.H. (2007). *What makes scientific problems difficult?* In D.H. Jonassen (Ed.), *Learning to solve complex, scientific problems* (pp. 3-23). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Jonassen, D.H. (2010). *Learning to solve problems: A handbook*. New York: Routledge.

Jonassen, D. H., & Hung, W. (2008). All problems are not equal: Implications for PBL. *Interdisciplinary Journal of Problem-Based Learning*, 2(2), 6-28.

Jonassen, D.H. (2010 a)

<http://www.aect.org/publications/whitepapers/2010/JonassenICER.pdf>

Klein, G.A. (1998). *Sources of power: How people make decisions*. Cambridge, MA: MIT Press.

Lehman, D., Lempert, R., & Nisbett, R.E. (1988). The effects of graduate training on reasoning: Formal discipline and thinking about everyday-life events. *Educational Psychologist*, 43, 431-42.

Meacham, J.A., Emont, N.C. (1989). The interpersonal basis of everyday problem solving. In J.D.

Sinnott (Ed.), *Everyday problem solving: Theory and applications* (pp. 7-23). New York: Praeger.

Newell, A. & Simon, H. (1972). *Human problem solving*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.

Rich, B. (1960). *Schaum's Principles of and Problems of Elementary Algebra*, Schaum's, New York.

Rumelhart, D. E., & Norman, D. A. (1988). Representation in memory. In R. C. Atkinson, R. J.

Herrnstein, G. Lindzey, & R. D. Luce (Eds.), *Steven's handbook of experimental psychology: Vol. 2. Learning and cognition* (2nd ed., pp. 511-587). New York: John Wiley & Sons.

Sinnott, J.D. (1989). *Everyday problem solving: Theory and applications* (pp.72–99). New York: Praeger.

Spiro, R.J. & Jehng, J.C. (1990). Cognitive flexibility and hypertext: Theory and technology for the non-linear and multi-dimensional traversal of complex subject matter. In D. Nix & R.J. Spiro (Eds.),

Cognition, education, and multimedia: Explorations in high technology. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.

Spiro, R. J., Feltovich, P. L., Jacobson, M. J., & Coulson, R. L. (1991). Cognitive flexibility, constructivism, and hypertext: Random access instruction for advanced knowledge acquisition in ill-structured domains. *Educational Technology*, 31(5), 24-33.

Spiro, R.J., Vispoel, W., Schmitz, J., Samarapungavan, A., & Boerger, A. (1987). Knowledge acquisition for application: Cognitive flexibility and transfer in complex content domains. In B.C. Britton (Ed.), *Executive control processes*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Spiro, R.J., Coulson, R.L., Feltovich, P.J., & Anderson, D.K. (1988). Cognitive flexibility theory: Advanced knowledge acquisition in ill-structured domains. Tech Report No. 441. Champaign, IL: University of Illinois,

Center for the Study of Reading. Taleb, N.N. (2007). *The black swan: The impact of the highly improbable*. New York: Random House.

Voss, J.F., & Post, T.A. (1988). On the solving of ill-structured problems. In M.T.H. Chi, R. Glaser, & M.J. Farr (Eds.), *The nature of expertise*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Wilson, J.W., Fernandez, M.L., & Hadaway, N (n.d). *Mathematical problem solving*. Retrieved 9/22/05 from <http://jwilson.coe.uga>.

Wood, P. K. (1983). Inquiring systems and problem structure: implications for cognitive development. *Human Development*, 26, 249-265.

Woods, D.R., Hrymak, A.N., Marshall, R.R., Wood, P.E., Crowe, Hoffman, T.W., Wright, J.D., Taylor, P.A., Woodhouse, K.A., & Bouchard, C.G.K. (1997). Developing problem-solving skills: the McMaster problem solving program. *Journal of Engineering Education*, 86 (2), 75-92.